نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۴۰۰، ص. ۳۳۳-۳۱۹

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 3, Jul.-Agu. 2021, p. 319-333

مقاله پژوهشی

برآورد حداقل جریان آب زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه کارون در بالادست و پایین‌دست سد بهشت‌آباد

فاطمه حیات غیبی[۱]– ناصر شاهنوشی[۲*]– بیژن قهرمان[۳]– حسین صمدی بروجنی[۴]– محمد قربانی[۵]– محمود صبوحی صابونی[۶]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۲

چکیده

هرچند توسـعه منابع آبی در موارد متعددی به افزایش رفاه اقتصادی، بهبود استانداردهای زندگی و بهداشتی، تولید غذا و غیره منجر شده است، اما در برخی از موارد بـه‌دلیل عدم توجه کافی به گسـتردگی حوزه‌ی تأثیرگذاری این طرح‌ها، آثار زیسـت‌محیطی و متعاقب آن اجتماعی و حتی اقتصـادی جبران‌ناپذیری بر جامعه تحمیل شـده است. توجه به نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه‌ها یکی از موارد بسیار مهم در تصمیم‌گیری‌های مربوط به طرح‌های توسـعه منابع آب می‌باشـد. بنابراین در مطالعه حاضـر تلاش شـده اسـت با اسـتفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، نیاز آب زیسـت‌محیطی در بالادسـت و پایین‌دست محل درنظر گرفته شده برای احداث سد پروژه جدید انتقال آب بهشت‌آباد، محاسبه گردد. براساس نتایج حاصل در بالادست محل سد، حداقل جریان زیسـت‌محیطی مورد نیاز رودخانه بهشـت‌آباد بین ۱/۲۲ مترمکعب بر ثانیه برای شـهریور تا ۱۶/۷۵ متر مکعب بر ثانیه برای فروردین برآورد شده اسـت. حداقل جریان زیست‌محیطی برآورد شده برای رودخانه کوهرنگ نیز از ۳/۶۹ متر مکعب بر ثانیه برای شهریور تا ۱۶/۸۱ متر مکعب بر ثانیه برای فروردین متغیر می‌باشـد. همچنین در پایین‌دسـت سد در محدوده ایستگاه ارمند، رودخانه کارون به حداقل جریان ۲۰/۸ متر مکعب بر ثانیه برای ماه‌های شـهریور و مهر تا ۷۳/۲۹ مترمکعب بر ثانیه برای ماه فروردین نیاز دارد. نتایج حاصـل نشـان می‌دهد در موارد متعددی به‌ویژه در سال‌هایی که منطقه با خشکسالی خفیف تا متوسط مواجه بوده، جریان آب مشاهداتی رودخانه برای تأمین حداقل نیازهای زیست‌محیطی آن کافی نبوده است. بر این اساس، به نظر می‌رسد منابع آب محدوده مورد بررسی نمی‌تواند به عنوان منبع پایداری برای انتقال آب درنظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: انتقال آب، رودخانه کارون، روش‌های هیدرولوژیکی، سد بهشت‌آباد، نیاز آب زیست‌محیطی

مقدمه

در بسیاری از مناطق جهان، رشد جمعیت، توسعه جوامع شهری و توسـعه فعالیت‌های کشـاورزی و صـنعتی در کنار توزیع غیریکنواخت مکانی و زمانی بارش، به رشد تقاضا برای آب و رقابت برای منابع آب موجود، منجر شـده اسـت. ایران نیز از این مسـئله مستثنی نمی‌باشد. یکی از راهکارهایی که برای کاهش این مشـکل در کشـور همواره مطرح بوده و بـه کـار رفتـه اسـت، انتقـال آب درون حوضـه‌ای و بین‌حوضه‌ای می‌باشد. طرح‌های آبی اجرا شده در حوضه آبریز کارون، نمونه‌ی شـناخته شـده و برجسـته‌ای در این خصـوص است. سدهای بزرگ و متعددی بر روی رودخانه کارون تأسـیس شده و این حوضه با توجه به برآورد آبی مناسـب و واقع شدن در نزدیکی دشت‌های کم‌آب مرکزی همواره بـه عنوان یـک گزینه مطرح برای رفع کمبود آب این مناطق مدنظر بوده است. طرح انتقال آب بهشت‌آباد از جمله طرح‌های جدید مطرح شـده برای انتقال بین حوضـه‌ای آب از حوضه کارون به زاینده‌رود می‌باشـد که از بحث‌برانگیزترین و مناقشه‌ای‌ترین طرح‌های انتقال آب کشور است.

علی‌رغم این‌که آثار منفی مختلف برای طرح‌های توسعه منابع آب و انتقال آب شـناخته شـده است، احداث این طرح‌ها در برخی از موارد بـه دلایـل اقتصـادی و اجتمـاعی اجتنـاب‌ناپذیر می‌باشـد. یکی از

۱، ۲، ۵ و ۶– به ترتیب دانشـجوی دکتری و اسـتادان گروه اقتصـاد کشـاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*– نویسنده مسئول: Email: Shahnoushi@um.ac.ir)
۳– استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴– دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

DOI: 10.22067/jsw.2021.67064.0

راهکارهای کاهش این آثار منفی توجه به جریان‌های زیست‌محیطی رودخانه است. در حالت کلی جریان‌های زیست‌محیطی رودخانه‌ها برای تأمین اهداف زیر تخصیص داده می‌شود (۷):

– پیشگیری یا به حداقل رساندن آثار منفی طرح‌های جدید توسعه منابع آب

– احیاء و بهبود شرایط سیستم‌هایی که تحت تأثیر طرح‌های موجود قرار گرفته‌اند.

شکست در تأمین این جریان‌ها منجر به کاهش سلامت رودخانه‌ها و اکوسیستم‌های وابسته در بسیاری از نقاط جهان شده است. این امر به‌طور غیرمستقیم منافع بخش‌های اقتصادی مختلف را نیز که به خدمات آن وابسته‌اند کاهش داده است. برای دستیابی به ترکیبی از گزینه‌های مقرون‌به‌صرفه و پیشگیرانه‌ی مدیریتی، ضروری است که تخصیص جریان‌های زیست‌محیطی در کنار سایر اقدامات مدنظر قرار گیرد (۷). جریان‌هایی که با هدف تأمین پایداری زیستگاه‌ها و فرآیندهای اکوسیستم تعیین و تخصیص داده می‌شوند، در ادبیات فنی به "جریان‌های زیست‌محیطی"، "نیاز آب زیست‌محیطی" و "الزامات آب زیست‌محیطی" معروف هستند (۷). در واقع، جریان آب زیست‌محیطی عبارت است از رژیم آب فراهم‌شده برای یک رودخانه، تالاب یا ناحیه ساحلی به منظور حفاظت از اکوسیستم‌ها و منافع آن‌ها، در مواقعی که مصارف رقابت‌کننده وجود دارند و جریان‌ها تنظیم شده‌اند (۲۶).

از جمله مطالعات صورت گرفته در خصوص جریان و نیاز آب زیست‌محیطی می‌توان به اسماختین و همکاران (۲۳) اشاره نمود. آن‌ها در یک تحقیق جهانی با بررسی ۱۲۸ حوضه رودخانه‌های بزرگ، نیاز آبی زیست‌محیطی مورد نیاز برای بقای اکوسیستم‌های آب شیرین را بین ۲۰ تا ۵۰ درصد جریان متوسط سالانه پیشنهاد دادند. این مقادیر با توجه به سطح حفاظتی لازم در هر یک از رودخانه‌ها و بر اساس منطقه مورد مطالعه، متفاوت می‌باشد. کایسی و ال‌جابی (۳) پنج روش هیدرولوژیکی ارزیابی جریان را برای ۷۰ رودخانه در آتلانتیک کانادا مقایسه کرده‌اند. این روش‌ها عبارتند از: ۱) روش تنانت، ۲) ۲۵ درصد میانگین جریان سالیانه (MAF 25%)، ۳) میانه جریان ماهانه (Q_{50}) که شامل جریان پایه آبزیان (ABF) می‌شود، ۴) Q_{90} و ۵) $7Q_{10}$. مقایسه روش‌های مختلف نسبت به ۲۵٪ MAF (روشی که معمولاً در آتلانتیک کانادا مورد استفاده قرار می‌گیرد)، نشان داده است که روش‌های Q_{90} و $7Q_{10}$ جریان بسیار کمی را برای ماه‌های زمستان و تابستان پیش‌بینی می‌کنند و تصمیمات مدیریت منابع بر اساس این پیش‌بینی‌ها می‌تواند عواقب نامطلوبی داشته باشد. روش جریان ماهانه متوسط (۵۰Q) برای حوضه‌های دارای ایستگاه و روش تنانت، ۲۵٪ MAF و روش‌های ABF برای حوضه‌های فاقد ایستگاه توصیه شده است. مازیماوی و همکاران (۱۱)، جریان مورد نیاز برای تأمین اهداف زیست‌محیطی ۱۵۱ زیرحوضه در زیمباوه را با استفاده از روش هیدرولوژیکی بررسی نموده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داده است که با افزایش تغییرات جریان، میزان نیاز زیست‌محیطی کاهش می‌یابد. آن‌ها ۳۰ تا ۶۰ درصد جریان متوسط سالانه را برای رودخانه‌های دائمی و ۲۰ تا ۳۰ درصد جریان را برای رودخانه‌های فصلی درنظر گرفته‌اند. دوبی و همکاران (۴) با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان، جریان زیست‌محیطی مورد نیاز برای رودخانه نارمادای هند را بر اساس چهار ایستگاه مشخص نموده‌اند. نتایج حاصل از کلاس مدیریت زیستی B یا C به عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز برای حفظ کیفیت آب و حیات آبزیان در پایین‌دست رودخانه، معرفی شده است. براساس نتایج کلاس B، حداقل جریان مورد نیاز رودخانه در ایستگاه‌های مختلف از ۲۴/۳ درصد تا ۴۶ درصد میانگین رواناب سالانه، متغیر می‌باشد. کیم و چوی (۱۰) مقدار جریان زیست‌محیطی را برای پایین‌دست سد یانگجو در کره با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، محاسبه و مقایسه کرده‌اند. روش‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده، روش تنانت، روش Q_{90} و روش $7Q_2$ می‌باشد. براساس نتایج حاصل، حداقل جریان زیست‌محیطی پیشنهادی توسط روش‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده، بسیار کمتر از مقادیر پیشنهادی توسط روش‌های هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه می‌باشد. همچنین جریان بهینه پیشنهادی توسط روش‌های هیدرولیکی بسیار بیشتر از دو روش دیگر است.

در ایران نیز مطالعات مختلفی برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها صورت گرفته است: از جمله شاعری کریمی و همکاران (۲۰) محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه شهرچای با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان و مقایسه آن با روش تنانت، شاخص جریان حداقل (جریان حداقل ۷ روزه با دوره بازگشت ۱۰ ساله)، روش تحلیل منحنی تداوم جریان و روش ذخیره رومیزی؛ پورستار (۱۸) ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه کارون (از ملاثانی تا دارخوین) با استفاده از چهار روش تنانت، منحنی تداوم جریان، روش ذخیره رومیزی و روش محدوده تغییرپذیری؛ عطایی کچوئی (۱) محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه دز با استفاده از روش تنانت، منحنی تداوم جریان، شیب منحنی و حداکثر انحنا؛ بیات و همکاران (۲) برآورد جریان محیطزیستی دو رودخانه کرج و تالار مازندران برمبنای روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، دبی پایه آبزیان، تسمن، تحلیل منحنی تداوم جریان و انتقال منحنی تداوم جریان؛ حسین‌پور (۸) محاسبه جریان زیست‌محیطی برای برخی از رودخانه‌های حوضه کارون شمالی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، منحنی تداوم جریان و تحلیل منحنی تداوم جریان و روش‌های هیدرولیکی محیط خیس‌شده؛ نادری و همکاران (۱۵) تحلیل رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی زیستگاه؛ مصطفوی و یاسی (۱۴) تعیین حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه باراندوزچای با استفاده از

روش‌های اکوهیدرولوژیکی.

جمع‌بندی مطالعات صورت گرفته در خصوص ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها، نشان می‌دهد روش‌های متعددی برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته است که روش‌های هیدرولوژیکی به دلیل هزینه کمتر و سرعت اجرای بالاتر جزو روش‌های متداول مورد استفاده در این زمینه می‌باشند. با توجه به این‌که روش‌های هیدرولوژیکی صرفاً از داده‌های جریان تاریخی رودخانه‌ها برای محاسبه جریان آب زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه استفاده می‌کنند، گرایش به سمت استفاده از روش‌های جدیدتر در این گروه مانند روش انتقال منحنی تداوم جریان که با لحاظ کلاس‌های مدیریت زیستی، جریان زیست‌محیطی را براساس دید اکولوژیکی و با توجه به شرایط زیستی رودخانه پیشنهاد می‌کند، افزایش یافته است. براساس پیشینه مطالعات صورت گرفته به‌نظر می‌رسد این روش تاکنون در محدوده مبدأ طرح جدید انتقال بین‌حوضه‌ای آب از حوضه کارون به زاینده‌رود (طرح بهشت‌آباد) مورد بررسی قرار نگرفته است. به دلیل اهمیت و حساسیت این طرح و از آن‌جایی‌که بحث‌های زیست‌محیطی یکی از مناقشه‌ترین موضوعات مطرح شده در خصوص اجرای این طرح می‌باشد و همچنین اهمیت توجه به نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه‌ها در اجرای کلیه‌ی طرح‌های توسعه منابع آب، هدف مطالعه‌ی حاضر بررسی جریان آب زیست‌محیطی رودخانه کارون در بالادست و پایین دست محل در نظر گرفته شده برای احداث سد طرح انتقال آب بهشت‌آباد است.

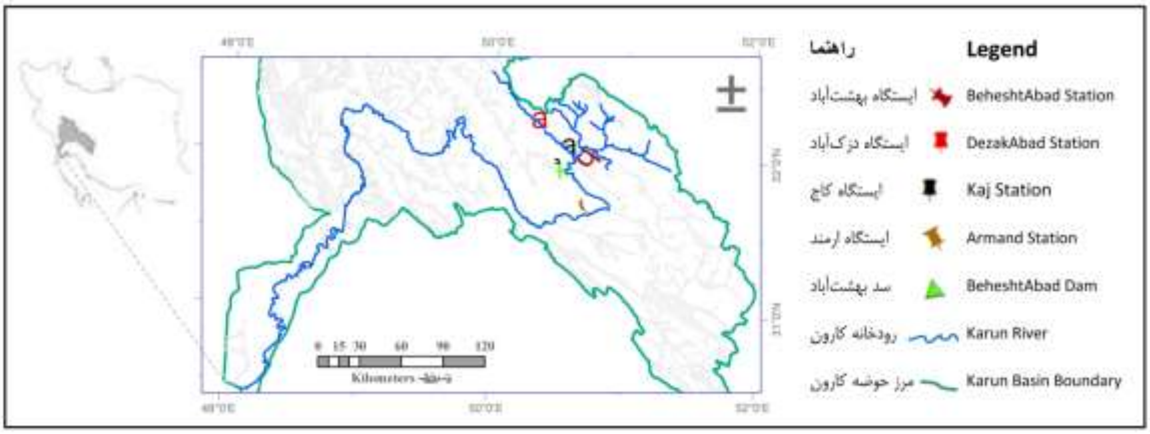
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد استفاده

محدوده‌ی مورد بررسی مطالعه حاضر، بخشی از حوضه آبریز رودخانه کارون واقع در محدوده طرح انتقال آب بهشت‌آباد می‌باشد. رودخانه‌های بهشت‌آباد و کوهرنگ پس از الحاق به یکدیگر، رودخانه کارون را تشکیل می‌دهند. طرح بهشت‌آباد که برای انتقال آب از حوضه کارون به زاینده‌رود مطرح شده، شامل یک سد در محل الحاق رودخانه‌های بهشت‌آباد و کوهرنگ است. ایستگاه هیدرومتری بهشت‌آباد در نزدیکی خروجی حوضه بهشت‌آباد و ایستگاه هیدرومتری کاج در نزدیکی خروجی محدوده کوهرنگ واقع شده‌اند. ایستگاه هیدرومتری ارمند در پایین‌دست این سد قرار دارد. ایستگاه ارمند با ۶۰ سال آمار جزو ایستگاه‌های هیدرومتری درجه یک حوضه کارون به‌شمار می‌رود. ایستگاه بهشت‌آباد دارای ۳۵ سال آمار و ایستگاه کاج دارای ۱۷ سال آمار می‌باشد. با توجه به دوره آماری نسبتاً کوتاه ایستگاه کاج، آبدهی در محل ایستگاه دزک‌آباد در بالادست آن که با ۳۴ سال آمار جزو ایستگاه‌های مناسب در حوضه می‌باشد، نیز مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). جدول ۱، موقعیت مکانی ایستگاه‌ها و دوره آماری مورد استفاده را نشان می‌دهد.

روش‌های هیدرولوژیکی تعیین جریان آب زیست‌محیطی

بـه منظور تعیین جریان آب زیست‌محیطی با توجه به مقیاس مکانی هر مطالعه، داده‌های موجود، گام زمانی ارزیابی و ظرفیت‌های فنی و مالی، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. حدود ۲۰۷ روش مختلف برای تعیین جریان آب زیست‌محیطی رودخانه‌ها در ۴۴ کشور از سراسر جهان شناسایی شده است (۷).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری

Figure 1- Study area and location of selected hydrometric stations

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه و دوره زمانی داده‌ها
Table 1- Hydrometric stations location and data time frame

ایستگاه هیدرومتری (Hydrometric station)	موقعیت مکانی (Location) طول (Longitude)	عرض (Latitude)	دوره زمانی Time frame	تعداد سال Years number
بهشت‌آباد (BeheshtAbad)	32-1-50	50-37-47	1984-2017 (1363-1396)	34
دزک‌آباد (DezakAbad)	32-14-56	50-19-18	1985-2017 (1364-1396)	33
کاج (Kaj)	32-3-14	50-34-49	1998-2017 (1377-1396)	20
ارمند (Armand)	31-41-0	50-46-0	1976-2017 (1355-1396)	42

موسسه بین‌المللی منابع آب، روش‌های ارزیابی جریان‌های زیست‌محیطی رودخانه‌ها را در قالب چهار روش متمایز شامل: روش‌های هیدرولوژیکی، روش‌های هیدرولیکی، روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه و روش‌های جامع طبقه‌بندی می‌کند. روش‌های هیدرولوژیکی، مبتنی‌بر داده‌های تاریخی جریان رودخانه می‌باشند. درصد ثابتی از جریان یا دیگر شاخص‌های به‌دست آمده از جریان که اغلب حداقل جریان نامیده می‌شوند، برای نمایش دادن نیازهای جریان زیست‌محیطی مناسب برای حفظ یک خصوصیت برجسته اکوسیستم در یک تراز قابل قبول از قبل پیش‌بینی شده، انتخاب می‌شوند (۷). از جمله روش‌های متداول مبتنی‌بر شاخص‌های هیدرولوژیکی می‌توان روش تنانت[۱] (یا مونتانا[۲])، روش تگزاس، منحنی تداوم جریان[۳] (FDC)، روش کمبود جریان اکولوژیکی، جریان پایه آبزیان، روش گستره تغییرپذیری[۴] (RVA) و روش ذخیره رومیزی[۵] (DRM) را نام برد. در مطالعه حاضر، با توجه به اطلاعات موجود و محدودیت هزینه و زمان، از روش‌های هیدرولوژیکی برای محاسبه جریان آب زیست‌محیطی استفاده شده است. علت استفاده از این روش‌ها این است که براساس بررسی پیشینه‌ی مطالعات صورت گرفته به‌نظر می‌رسد روش انتقال منحنی تداوم جریان در محدوده مورد مطالعه تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است و استفاده از دو روش دیگر نیز امکان مقایسه نتایج حاصل را فراهم می‌آورد؛ ضمن این‌که روش متداول مورد استفاده در گزارش‌های طرح جامع منابع آب و مطالعات آمایش، روش تنانت می‌باشد.

روش تنانت (مونتانا): این روش یکی از پرکاربردترین روش‌های هیدرولوژیکی است که در حال حاضر دومین روش جریان زیست‌محیطی پرکاربرد در امریکای شمالی می‌باشد (۷). تنانت از میان یک روش نسبتاً پیچیده، روشی ساده برای کاربرد استاندارد که می‌تواند با داده‌های بسیار کم استفاده شود، ارائه کرده است. این تکنیک تنها متوسط جریان سالیانه را برای رودخانه به‌کار می‌برد. بنابراین جریان‌های معین مرتبط با درجه‌بندی‌های کیفی زیستگاه ماهیان را که برای تعریف جریان مورد نیاز برای حفظ زیستگاه ماهیان با کیفیت مطلوب استفاده شده‌اند، جز به جز شرح می‌دهد. مقادیر مختلف جریان که در این روش برای حفاظت از سطوح مختلف سلامت اکوسیستم پیشنهاد می‌شود، به شرح جدول ۲ است. این جدول به متخصصین اجازه می‌دهد که جریان مورد نیاز را با استفاده از درصد متوسط جریان سالیانه بدون جمع‌آوری داده‌های بیشتر در محل تنظیم کنند. در ایران روش تنانت می‌تواند به عنوان یک مدل برای توسعه سطوح حداقل جریان در سطح برآورد اولیه در حوضه آبریز باشد (۱۲). براساس ابلاغیه شماره ۸۳۴۹/۳۱/م وزارت نیرو، روش مونتانا (تنانت) با کیفیت حیات ماهی در رودخانه در حد قابل قبول به عنوان حداقل نیاز آبی زیست‌محیطی در رودخانه‌ها بایستی مدنظر قرار گیرد. در روش مونتانا (طبق ابلاغیه وزارت نیرو)، مبنای محاسباتِ جریان زیست‌محیطی، آبدهی متوسط سالانه است که به تفکیک برای فصل‌های بهار و تابستان با ضریب ۰/۳ و برای فصل‌های پاییز و زمستان با ضریب ۰/۱ محاسبه می‌گردد. در این روش، –طبق دستورالعمل تخصیص–، مبنای محاسبات جریان زیست‌محیطی، آبدهی متوسط ماهانه است و ضرایب مطابق روش قبل اعمال می‌شود (۱۳).

روش منحنی تداوم جریان: یکی از خصوصیات مربوط به جریان آب که در ارزیابی نوسانات و تغییرپذیری آب رودخانه از نظر زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد، منحنی تداوم جریان است. منحنی تداوم جریان از مفیدترین روش‌های نمایش محدوده کامل دبی‌های رودخانه از رخدادهای کم‌آبی تا سیلابی می‌باشد. این منحنی نشان‌دهنده رابطه بین شدت جریان آب و درصد زمانی دفعاتی است که از جریان معینی (در طول دوره آماری) برابر یا افزون می‌گردد. جریان‌های بین محدوده ۷۰ تا ۹۹ درصد زمان تجاوز، معمولاً به‌طور گسترده‌ای به عنوان جریان‌های کم‌آبی استفاده می‌شوند. جریان‌های Q_{90} و Q_{95} شاخص‌هایی هستند که اکثر مواقع به عنوان شاخص‌های

1- Tennant
2- Montana
3- Flow Duration Curve
4- Range of Variability Approach
5- Desktop Reserve Model

کم‌آبی به کار می‌روند (۱۹ و ۲۱).

جدول ۲- جریان زیست‌محیطی پیشنهادی در روش تنانت
Table 2- Environmental flow suggested by Tennant

وضعیت جریان (Description of flows)	درصدهای پیشنهادی از میانگین آورد سالانه رودخانه Recommended base flow regimens (percent of mean annual runoff)	
	آوریل- سپتامبر Apr-Sep	اکتبر- مارس Oct-Mar
(Flushing or maximum) شست‌وشوی سریع یا حداکثر	200	200
(Optimal range) محدوده بهینه	60-100	60-100
(Outstanding) بسیار عالی	60	40
(Excellent) عالی	50	30
(Good) خوب	40	20
(Fair or degrading) قابل قبول	30	10
(Poor) ضعیف	10	10
(Severe degradation) بسیار ضعیف	10>	10>

Reference: Tennant, 1976 مأخذ: تنانت، ۱۹۷۶

در بسیاری از مراجع بده جریان با احتمال تجاوز ۹۰ درصد (Q_{90})، به عنوان نرم جریان حداقل رودخانه مورد توافق است (۵). جریان میانه ماهیانه (Q_{50}) نیز شاخص تدوام جریان متداول دیگری می‌باشد که در مواردی مانند حفاظت از بیوتای آبی و پیشنهاد جریان‌های فصلی حداقل برای رودخانه‌های نیروی آبی مورد استفاده قرار گرفته است.

منحنی تداوم جریان با مرتب کردن داده‌های آماری جریان به صورت نزولی ترسیم می‌شود. جریان‌ها در مقابل مقادیر احتمال (P) قرار داده می‌شوند. احتمال وقوع و تجاوز از هر مقدار دبی مشخص از رابطه ۱ به‌دست می‌آید:

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (۱)$$

که در آن m، مرتبه دبی در سری زمانی مرتب شده به صورت نزولی و n، کل تعداد فراوانی داده‌ها است.

روش انتقال منحنی تداوم جریان: این روش توسط اسماختین و آنپوتاس (۲۲) به منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی در سامانه رودخانه معرفی شده است. انتقال منحنی تداوم جریان، یک رژیم هیدرولوژیکی برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژیکی مطلوب ارائه می‌دهد. این روش شامل چهار مرحله اصلی می‌باشد:

۱- شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود، ۲- تعریف کلاس‌های مدیریتی زیست‌محیطی، ۳- تولید منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی، ۴- تولید سری زمانی جریان زیست‌محیطی ماهیانه

مراحل کامل این روش در مراجع مختلف (۷) موجود می‌باشد؛ بنابراین در این مطالعه تنها به ذکر خلاصه‌ای از آن اکتفا شده است. در مرحله اول منحنی تداوم جریان طبیعی در بازه رودخانه‌ای مورد نظر تهیه می‌گردد. محور احتمالات منحنی تداوم جریان با نمایش ۱۷ درصد احتمال وقوع (۰/۰۱، ۰/۱، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ...، ۹۰، ۹۵، ۹۹، ۹۹/۹، ۹۹/۹۹)، در نظر گرفته می‌شود. این نقاط تضمین می‌کنند که تمام محدوده جریان‌ها به قدر کافی پوشش داده شده است. در مرحله بعد، کلاس‌های مدیریت زیستی تعریف می‌شود. کلاس بالاتر به آب بیشتر جهت حفظ و نگهداری اکوسیستم نیاز خواهد داشت. در این روش ۶ کلاس مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل کلاس A: وضعیت طبیعی، کلاس B: اندکی تغییر یافته، کلاس C: نسبتاً تغییر یافته، کلاس D: تا حد زیادی تغییر یافته، کلاس E: به شدت تغییر یافته و کلاس F: به طرز بحرانی تغییر یافته می‌باشد. کلاس A، بیانگر وضعیت دست نخورده یا حداقل تغییرات زیستگاه ساحلی و رودخانه‌ای است در حالی‌که در کلاس F، اکوسیستم کاملاً دچار تغییرات شده و تقریباً می‌توان گفت زیستگاه طبیعی و بیوتا دچار تخریب کامل شده‌اند که این حالت از نظر مدیریتی قابل قبول نمی‌باشد. شرح کامل توضیح اکولوژیکی و دیدگاه مدیریتی مربوط به کلاس‌های مدیریت زیستی در منابع مختلف موجود است (۲۲). پس از ترسیم منحنی تداوم جریان طبیعی، با استفاده از انتقال عرضی به سمت چپ در طول محور احتمال، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس مدیریتی مشخص می‌شود. انتقال در منحنی تداوم جریان به این معنا است که برای مثال جریانی که در ۹۹/۹۹ درصد مواقع رخ می‌داد، اکنون در ۹۹/۹ درصد رخ می‌دهد. در نهایت می‌توان از طریق یک میان‌یابی فضایی، منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی را به سری‌های زمانی جریان زیست‌محیطی تبدیل کرد (۷). در این مطالعه، محاسبات مربوط به روش انتقال منحنی تداوم

جریان، با استفاده از نرم‌افزار GEFC[1] انجام شده است.

بازسازی و تکمیل داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری: در مورد تحلیل رژیم هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ها لازم است در هر یک از نقاط کنترلیِ تعیین شده، حداقل سری زمانی ۲۰ ساله جریان طبیعی رودخانه مورد تحلیل قرار گیرد. علت این امر آن است که تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد با درنظر گرفتن دوره آماری حداقل دو دهه، آثار اقلیمی بین سالی روی پارامترهای هیدرولوژیکی جریان به شدت کاهش می‌یابد (۱۷ و ۲۵). در مواردی که طول آمار موجود کافی نباشد، یا آثار توسعه‌های انسانی بر رژیم جریان حذف نشده باشد، سری زمانی باید با استفاده از الگوهای هیدرولوژیکی- آماری بازسازی شود. برای تکمیل و برآورد داده‌های گمشده ایستگاه‌های هیدرومتری می‌توان از روش‌های مختلف مانند مدل‌های بارش- رواناب، روابط رگرسیونی، ضریب همبستگی و شبکه عصبی استفاده نمود. در مطالعه حاضر، برای تکمیل داده‌های ایستگاه بهشت‌آباد و تطویل داده‌های ایستگاه کاج از روش ضریب همبستگی، رگرسیون و شبکه عصبی استفاده شده است. توضیحات مربوط به این روش‌ها در منابع مختلف موجود می‌باشد (۹ و ۱۶). برای تکمیل داده‌های ایستگاه بهشت‌آباد، آمار دو ایستگاه درکش ورکش و کوه‌سوخته در بالادست این ایستگاه و ایستگاه ارمند در پایین‌دست آن مورد استفاده قرار گرفته است. به‌این‌صورت که ابتدا با استفاده از روش‌های مذکور، دبی رودخانه در محل ایستگاه بهشت‌آباد برآورد گردید و نتایج با مقادیر واقعی مقایسه شد. در نهایت مدلی با کمترین خطا (رابطه ۲) انتخاب و مقادیر گمشده ایستگاه براساس آن محاسبه شد.

$$Q_B = 1.51 + 0.86Q_K + 1.39Q_D \qquad \overline{R}^2 = 0.99$$
$$RMSE = 1.26 \qquad (2)$$

Q_B، Q_K و Q_D، به ترتیب دبی رودخانه در محل ایستگاه بهشت‌آباد، کوه‌سوخته و درکش‌ورکش است. مقدار خطا (RMSE) براساس رابطه فوق، ۱/۲۶ می‌باشد. برای تطویل آمار ایستگاه کاج نیز از دو ایستگاه دزک‌آباد و ارمند استفاده گردید که در نهایت رابطه همبستگی بین ایستگاه کاج و دزک‌آباد، پیش‌بینی با کمترین خطا را حاصل نمود. ضریب همبستگی دو ایستگاه کاج و دزک‌آباد، ۰/۹۶ و مقدار خطا (RMSE)، ۵/۴۷ محاسبه شده است.

طبیعی‌سازی داده‌های ایستگاه‌ها: همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، در روش‌های هیدرولوژیکی، محاسبات با استفاده از جریان طبیعی رودخانه صورت می‌گیرد. بنابراین لازم است آمار مشاهده‌ای ایستگاه‌های مورد استفاده، طبیعی شوند. برای این منظور از روش حذف روند که در مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع منابع آب کشور (۱۳) نیز پیشنهاد شده، استفاده شده است. اما با توجه به این‌که در محدوده کوهرنگ، انتقال آب به خارج از حوضه از طریق دو تونل کوهرنگ ۱ و ۲ صورت می‌گیرد، لازم است مقدار برداشت از این طریق به آبدهی مشاهداتی ایستگاه‌های متأثر از آن شامل دزک‌آباد، کاج و ارمند اضافه گردد. پس از طی کلیه مراحل توضیح داده شده، داده‌های حاصل می‌توانند مبنای محاسبه نیاز آب زیست‌محیطی قرار گیرند.

نتایج و بحث

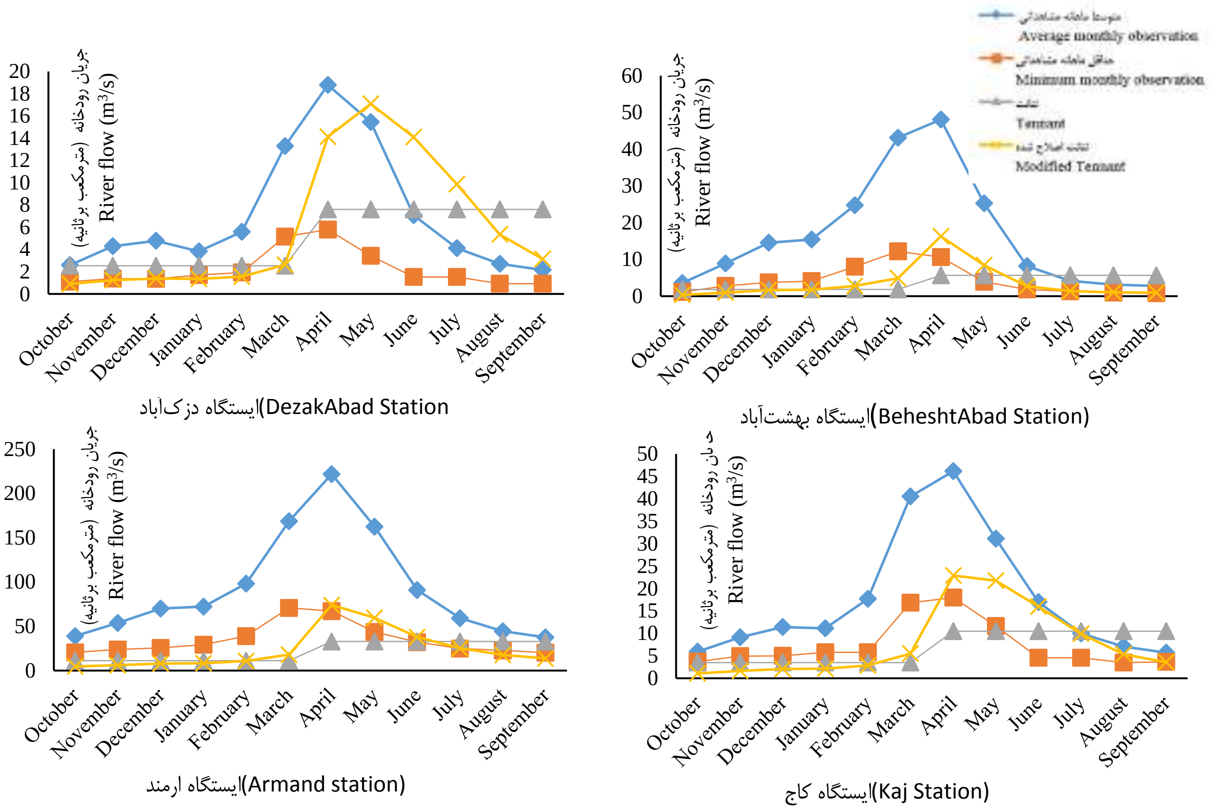
با استفاده از داده‌های دبی جریان ماهانه در محل ایستگاه‌های مشخص شده، جریان آب زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه در محدوده مدنظر محاسبه شده است. جدول ۳ نتایج محاسبه جریان زیست‌محیطی مورد نیاز را براساس روش تنانت و برای وضعیت‌های مختلف نشان می‌دهد. برای وضعیت قابل قبول، حداقل جریان زیست‌محیطی به دو روش تنانت و تنانت اصلاح شده، محاسبه و نتایج حاصل در قالب شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در برخی از موارد حداقل جریان ماهانه کمتر از حداقل جریان برای حفظ اکوسیستم رودخانه در وضعیت قابل قبول است. این مسئله در مورد ایستگاه دزک‌آباد به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. علت این است که بخشی از جریان آب طبیعی رودخانه در بالادست این ایستگاه از طریق تونل ۱ و ۲ کوهرنگ به خارج از حوضه منتقل می‌شود و بنابراین آبدهی طبیعی و مشاهداتی آن اختلاف زیادی با یکدیگر دارد. متوسط حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه به‌ترتیب براساس روش تنانت و تنانت اصلاح‌شده برای ایستگاه‌های مختلف عبارت است از: ایستگاه بهشت‌آباد ۳/۸۰ و ۳/۶۲ متر مکعب بر ثانیه، ایستگاه دزک‌آباد ۵/۰۶ و ۶/۰۷، ایستگاه کاج ۶/۹۹ و ۷/۹۱، ایستگاه کاج (با نادیده گرفتن انتقال آب از طریق تونل‌های کوهرنگ) ۳/۵۵ و ۳/۷۲، ایستگاه ارمند ۲۲ و ۲۳/۶۷ متر مکعب بر ثانیه. نکته قابل توجه این است که هرچند مقادیر متوسط حداقل جریان زیست‌محیطی پیشنهادی با استفاده از این دو روش تقریباً نزدیک به یکدیگر است، اما مقدار ماهانه پیشنهادی توسط آن‌ها در برخی از ماه‌ها اختلاف زیادی با یکدیگر دارد. نتایج ایستگاه کاج (بر روی رودخانه کوهرنگ) نشان می‌دهد در صورتی‌که انتقال آب از طریق تونل‌های کوهرنگ به خارج از این محدوده در آبدهی طبیعی رودخانه لحاظ نشود، حداقل نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه کوهرنگ تقریباً نصف حالت قبل به‌دست می‌آید.

1- Global Environmental Flow Calculator

جدول ۳- جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها با استفاده از روش تنانت (m^3/s)

Table 3- River environmental flow based on Tennant method

وضعیت جریان (Description of flows)	رودخانه بهشت‌آباد (ایستگاه بهشت‌آباد) BeheshAbad River (BeheshtAbad Station)		رودخانه کوهرنگ (ایستگاه دزک‌آباد) Koohrang River (DezakAbad Station)		رودخانه کوهرنگ (ایستگاه کاج) Koohrang River (Kaj Station)		رودخانه کارون (ایستگاه ارمند) Karun River (Armand Station)	
	Oct- Mar	Apr- Sep	Oct- Mar	Apr- Sep	Oct- Mar	Apr- Sep	Oct- Mar	Apr- Sep
شست‌وشوی سریع یا حداکثر (Flushing or maximum)	38.05	38.05	50.62	50.62	69.91	69.91	220.06	220.06
محدوده بهینه (Optimal range)	11.42-19.03	11.42-19.03	15.18-25.31	15.18-25.31	20.97-34.95	20.97-34.95	66.02-110.03	66.02-110.03
بسیار عالی (Outstanding)	7.61	11.42	10.12	15.18	13.98	20.97	44.01	66.02
عالی (Excellent)	5.71	9.51	7.59	12.65	10.49	17.48	33.01	55.01
خوب (Good)	3.81	7.61	5.06	10.12	6.99	13.98	22.01	44.01
قابل قبول (Fair or degrading)	1.90	5.71	2.53	7.59	3.50	10.49	11.00	33.01
ضعیف (Poor)	1.90	1.90	2.53	2.53	3.50	3.50	11.00	11.00
بسیار ضعیف (Severe degradation)	<1.90	<1.90	<2.53	<2.53	<3.50	<3.50	<11.00	<11.00



شکل ۲- حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها با استفاده از روش تنانت

Figure 2- Minimum environmental flow based on Tennant method

جدول ۴ نشـان می‌دهد در طول دوره‌های مورد بررسـی، در چند درصـد از سـال‌ها جریـان مـاهـانـه رودخـانه کمتر از حداقل نیاز زیست‌محیطی آن بوده است. برای مثال در ایستگاه بهشت‌آباد براساس روش تنانت اصلاح شده در حدود ۵/۹ درصد از ۳۴ سال مورد بررسی، در مـاه آوریـل جریـان مشـاهـداتی در ایسـتگـاه کمتر از نیـاز آب زیسـت‌محیطی برای حفظ رودخانه در شرایط قابل قبول بوده است. با توجه به نتایج حاصل به‌نظر می‌رسد روش تنانت که برمبنای درصدی از متوسـط جریان سـالانه، نیاز آب زیسـت‌محیطی را تعیین می‌کند، حداقل برای اسـتفاده در ماه‌های کم‌آب سـال مناسـب نیست، زیرا در اکثر سال‌های مورد بررسی مقدار پیشنهادی آن در این ماه‌ها، بیشتر از متوسط جریان ماهانه است و روش تنانت اصلاح شده نتایج واقعی‌تری را حاصـل می‌نماید. لازم به ذکر است که بیشتر سال‌هایی که نیاز آب زیسـت‌محیطی رودخانه تأمین نشده است، سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۷ به بعد می‌باشـد که منطقه با خشـکسـالی خفیف تا متوسـط (براسـاس شـاخص SDI طرح آمایش استان چهارمحال و بختیاری) مواجه بوده است.

در جدول ۵ شـاخص‌های منحنی تداوم جریان برای ایستگاه‌های مورد بررسـی ارائه شـده است. محاسبه این شاخص‌ها به روش مشابه برای ماه‌های مختلف و مقایسـه آن با مقادیر جریان مشـاهده‌ای در دوره‌های مورد بررسـی (شـکل ۳) نشـان می‌دهد که متوسـط جریان رودخـانـه در برخی از مـاه‌هـا اختلاف چندانی با Q_{95} ندارد و حتی در مواردی از آن کمتر شده است. همان‌طور که قبلاً گفته شد در بسیاری از مراجع Q_{90}، به عنوان نرم جریان حداقل رودخانه مورد توافق اسـت (۵). در مطالعه حسـین‌پور (۸) که در حوضـه کارون صـورت گرفته و ایستگاه‌های بهشت‌آباد، دزک‌آباد و ارمند را نیز مورد بررسی قرار داده، نتایج حاصل از Q_{75} به عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها انتخاب شده است؛ بنابراین حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های بهشـت‌آباد (ایستگاه بهشت‌آباد)، کوهرنگ (ایستگاه دزک‌آباد) و کارون (ایسـتگاه ارمند) در ماه‌های مختلف به ترتیب در محدوده‌ی (۲۱/۶ – ۱/۲۹)، (۸/۵ – ۱/۴) و (۹۸/۳ – ۲۱/۸) مترمکعب بر ثانیه پیشـنهاد شـده اسـت. این نتایج برای ایسـتگاه بهشـت‌آباد و ارمند تقریباً مشابه نتایج حاصل از Q_{95} در مطالعه حاضر می‌باشد. این تفاوت ممکن است بـه این دلیل باشـد که در مطالعه حسـین‌پور (۸)، دوره آماری مورد اسـتفاده ۲۲ سـال اسـت و همچنین به‌نظر می‌رسـد داده‌های دبی رودخانه‌ها، طبیعی‌سازی نشده‌اند. با توجه به برداشت‌ها و تغییراتی که تاکنون در محدوده مورد بررسی صورت گرفته است، استفاده از نتایج Q_{75}که نشان‌دهنده وضعیتی است که تغییرات به صورت جزئی بوده و شـرایط تا حد زیادی دسـت نخورده‌اند، برای انتخاب به عنوان حداقل جریان آب زیست‌محیطی پیشنهادی مطالعه حاضر مناسب نمی‌باشد.

جدول ۴- عدم تأمین حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها براساس روش تنانت (درصد)

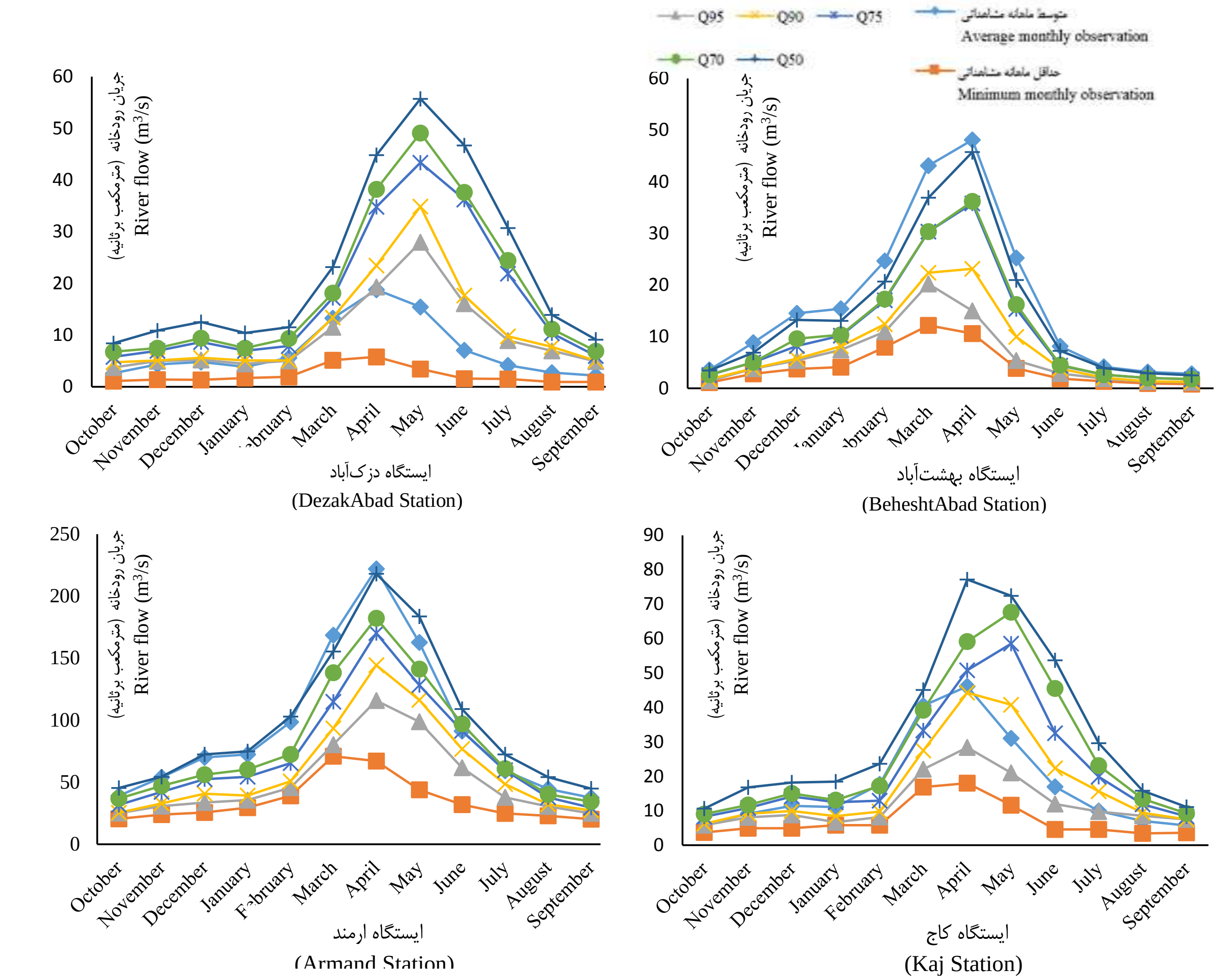
Table 4- Failure to meet the minimum environmental water requirements based on Tennant method (percentage)

ایستگاه (Station)	روش (Method)	مهر Oct	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul	مرداد Aug	شهریور Sep
بهشت‌آباد	تنانت (Tennant)	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	47.1	73.5	88.2	91.2
(BeheshtAbad)	تنانت اصلاح‌شده (Modified Tennant)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	8.8	5.9	2.9	8.8	8.8
دزک‌آباد	تنانت (Tennant)	69.7	45.5	27.3	30.3	12.1	0.0	9.1	27.3	75.8	90.9	100.0	100.0
(DezakAbad)	تنانت اصلاح‌شده (Modified Tennant)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	20.0	55.0	65.0	30.0	0.0
کاج	تنانت (Tennant)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	65.0	90.0	100.0
(Kaj)	تنانت اصلاح‌شده (Modified Tennant)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	20.0	55.0	65.0	30.0	0.0
ارمند	تنانت (Tennant)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	21.4	31.0	33.3
(Armand)	تنانت اصلاح‌شده (Modified Tennant)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.38	2.38	4.76	2.38	0.00	0.00

جدول ۵- شاخص‌های منحنی تداوم جریان سالیانه (m^3/s)

Table 5- Indicators of annual flow duration curve (m^3/s)

ایستگاه (Station)	Q_{50}	Q_{70}	Q_{75}	Q_{90}	Q_{95}
بهشت‌آباد (BeheshtAbad)	9.969	4.975	4.360	2.342	1.960
دزک‌آباد (DezakAbad)	17.177	10.361	9.394	6.317	5.101
کاج (Kaj)	23.971	15.640	13.200	9.413	8.320
ارمند (Armand)	82.945	56.296	52.097	37.799	30.620

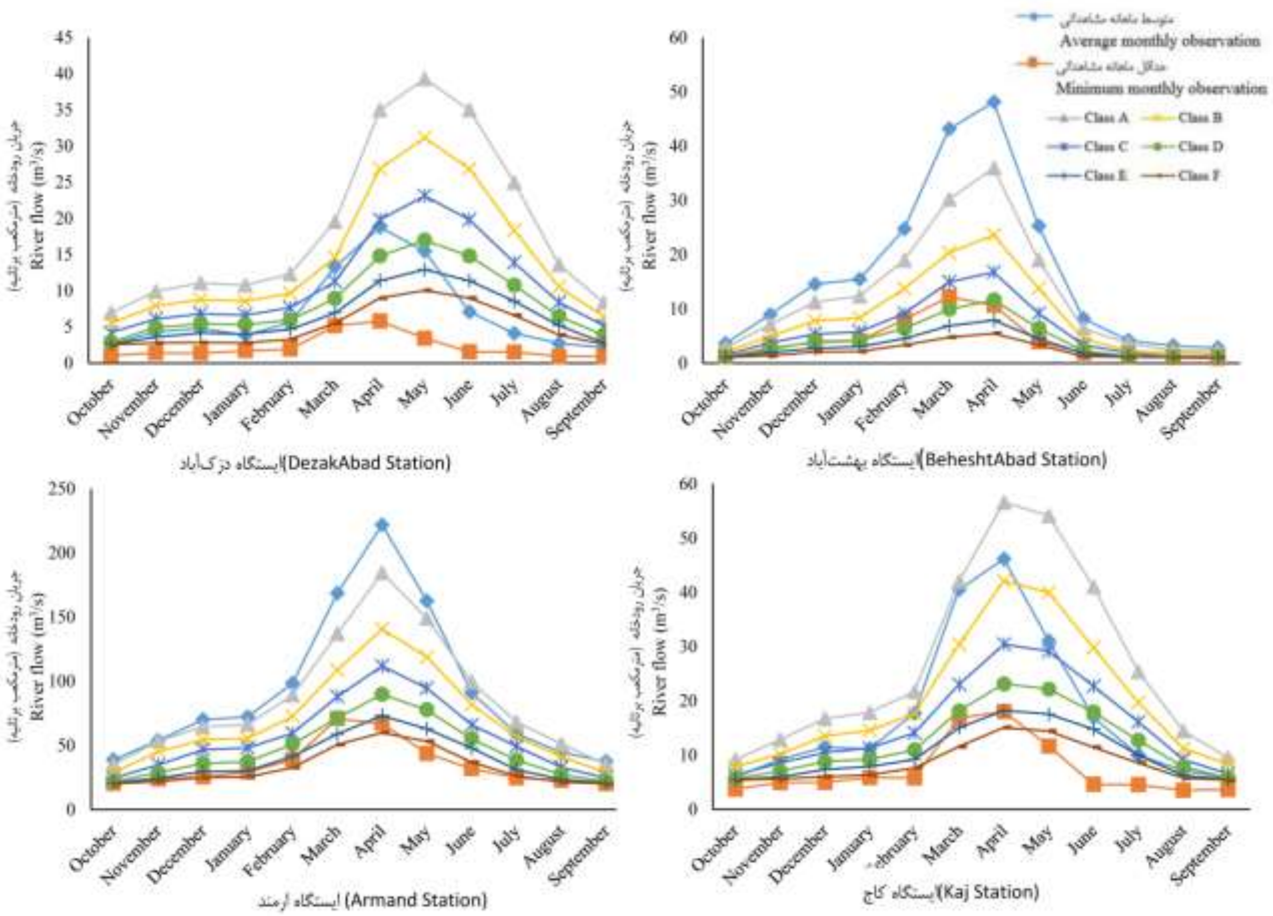


شکل ۳- مقایسه متوسط و حداقل جریان ماهانه مشاهداتی با شاخص‌های منحنی تداوم جریان

Figure 3- Comparison of average and minimum monthly flow with indicators of the flow duration curve

با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان، می‌توان نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه‌ها را برای کلاس‌های مختلف مدیریتی تعیین نمود. نتایج حاصل از به‌کارگیری این روش در شکل ۴ نشان داده شده است. در مورد رودخانه بهشت‌آباد، مقدار حداقل متوسط ماهانه مشاهداتی بیانگر این است که در مواردی وضعیت رودخانه در محدوده ایستگاه بهشت‌آباد حتی از وضعیت D نیز پایین‌تر قرار گرفته است. برای این‌که بتوان مقایسه بهتری داشت، در جدول ۶ مقایسه‌ای بین جریان زیست‌محیطی پیشنهادی براساس کلاس‌های C به بعد و جریان مشاهده‌ای رودخانه صورت گرفته است. اعداد جدول نشان می‌دهد که در دوره‌های مورد بررسی در چند درصد از موارد، جریان رودخانه کمتر از نیاز زیست‌محیطی آن بوده است.

همان‌طور که براساس نتایج جدول ۶ مشاهده می‌شود، برای مثال در رودخانه بهشت‌آباد از ۳۴ سال مورد بررسی، در ۸/۸ درصد از سال‌ها در ماه‌های اکتبر، جریان رودخانه کمتر از مقدار آب پیشنهادی برای حفظ رودخانه در وضعیت کلاس C بوده است. نحوه استفاده از نتایج ذیل بسته به هدف مدیریت حوضه می‌تواند متفاوت باشد. در خصوص ایستگاه دزک‌آباد، علت درصد بالای عدم تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه، همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، طبیعی‌سازی داده‌های این ایستگاه براساس برداشت آب در بالادست آن از طریق تونل‌های کوهرنگ و انتقال آب به خارج از حوضه می‌باشد. بنابراین داده‌های مشاهده‌ای در محل این ایستگاه اختلاف زیادی با داده‌های جریان طبیعی رودخانه دارد و از لحاظ مقدار جریان، رودخانه به مقدار زیادی تغییر یافته و تحت تأثیر قرار گرفته است. داده‌های ایستگاه‌های کاج و ارمند نیز تحت تأثیر انتقال آب از طریق تونل‌های کوهرنگ قرار گرفته‌اند اما به‌دلیل این‌که این ایستگاه‌ها در پایین‌دست ایستگاه دزک‌آباد قرار دارند و رودخانه‌ها و جریانات دیگری به آن‌ها می‌پیوندند، دبی بیشتری دارند و کمتر متأثر شده‌اند.



شکل ۴- جریان زیست‌محیطی رودخانه براساس روش انتقال منحنی تداوم جریان برای کلاس‌های مختلف زیست‌محیطی

Figure 4- River environmental flow for different environmental management classes based on flow duration curve shifting method

به منظور بررسی بیشتر، برای ایستگاه کاج محاسبات به دو صورت انجام شده است. در حالت اول آبدهی طبیعی با لحاظ اثر انتقال آب از طریق تونل‌های کوهرنگ مدنظر قرار گرفته اما در حالت دوم فرض شده است، با توجه به این‌که از اجرای این طرح‌ها سال‌های متمادی می‌گذرد، صرفاً وضعیت سال‌های اخیر رودخانه مدنظر قرار گیرد و آب زیست‌محیطی مورد نیاز با توجه به شرایط ۲۰ سال اخیر محاسبه گردد. مشاهده می‌شود که حتی بدون درنظر گرفتن انتقال آب کوهرنگ، در برخی از سال‌ها مقدار آب رودخانه کوهرنگ در محل ایستگاه کاج برای حفظ شرایط رودخانه در کلاس مدیریت زیستی C و یا حتی در برخی موارد D نیز کافی نبوده است. در خصوص رودخانه کارون، نتایج ایستگاه ارمند نشان می‌دهد که در موارد متعددی جریان مشاهده‌ای رودخانه کمتر از مقدار آب زیست‌محیطی مورد نیاز برای حفظ آن در کلاس زیستی C، بوده است. به‌نظر می‌رسد بیشترین کمبود آب زیست‌محیطی در محدوده این ایستگاه مربوط به دو ماه ژوئن و ژوئیه (از دهه دوم خرداد تا دهه اول مرداد) است؛ که ممکن است بخشی از آن به دلیل برداشت آب برای مصارف کشاورزی باشد.

با توجه به این‌که مطالعه‌ای که از روش انتقال منحنی تداوم جریان برای برآورد حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها در محدوده مدنظر این مطالعه استفاده کرده باشد یافت نشد، امکان مقایسه نتایج وجود ندارد. اما در مطالعات متعدد صورت گرفته در حوضه‌های دیگر، نتایج کلاس C به عنوان حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول گزاش شده است (۲، ۴، ۶، ۱۴ و ۱۵). این کلاس بیانگر وضعیت نسبتاً تغییریافته است که از لحاظ اکولوژیکی زیستگاه‌ها و دینامیک بیوتا مختل شده‌اند اما عملکردهای اساسی اکوسیستم هنوز دست نخورده‌اند (۲۲). در خصوص ایستگاه بهشت‌آباد، نتایج حاصل از کلاس C، با نتایج حاصل از Q_{95} در روش FDC تطابق دارد. متوسط حداقل جریان زیست‌محیطی برمبنای کلاس مدیریت زیستی C، ۶/۱۸ و براساس Q_{95}، ۶/۴۳ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمده است. حداقل جریان پیشنهاد شده برای ماه‌های مختلف از ۱/۲۲ مترمکعب بر ثانیه برای سپتامبر (شهریور) تا ۱۶/۷۵ متر مکعب بر ثانیه برای آوریل (فروردین)

برمبنای کلاس C و ۲۰/۲۴ متر مکعب برثانیه برای مارس (اسفند) برمبنای Q_{95} متغیر است. این نتایج به‌عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه بهشت‌آباد درنظر گرفته می‌شوند.

در خصوص ایستگاه دزک‌آباد، نتایج کلاس C و D نمی‌تواند به عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز مورد استفاده قرار گیرد؛ زیرا براساس تغییرات دبی مشاهداتی رودخانه نسبت به جریان طبیعی آن، وضعیت اکوسیستم در این قسمت به شدت تغییر یافته است. مقدار جریان پیشنهادی توسط Q_{95} نیز در تمامی ماهها به‌جز دو ماه پرآب فوریه و مارس (بهمن و اسفند)، بیشتر از متوسط جریان مشاهداتی رودخانه است. بنابراین روش FDC نیز برای این محدوده قابل کاربرد نمی‌باشد. حداقل نیاز زیست‌محیطی محاسبه شده برمبنای کلاس E و F در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر (خرداد تا شهریور) و مقادیر محاسبه شده توسط روش تنانت اصلاح‌شده در ماه‌های مه تا سپتامبر (اردیبهشت تا شهریور) بیشتر از متوسط جریان مشاهداتی رودخانه در این ماه‌های می‌باشد. برای جلوگیری از تغییرات و تخریب بیشتر در این محدوده، می‌توان نتایج حاصل از کلاس E را به عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی برای این بخش از رودخانه پیشنهاد کرد و با نظر کارشناسان برای ماه‌های کم‌آب تعدیل مناسب برای آن درنظر گرفت. اما بهتر است از روش‌های کامل‌تر که وضعیت زیستگاه و پارامترهای دیگری غیر از جریان رودخانه را در محاسبات لحاظ می‌نمایند، برای محاسبه جریان زیست‌محیطی مورد نیاز در این محدوده استفاده نمود.

در مورد ایستگاه کاج، نتایج حاصل از کلاس D تقریباً مشابه نتایج Q_{95} می‌باشد. اما همان‌طور که در جدول ۶ مشخص است، در تعداد زیادی از سال‌ها مقدار جریان متوسط ماهانه کمتر از حداقل نیاز زیست‌محیطی محاسبه شده برمبنای این روش می‌باشد. برآورد مجدد نتایج با نادیده گرفتن انتقال آب از طریق تونل‌های کوهرنگ و مقایسه آن با نتایج حاصل از جریان طبیعی رودخانه نشان می‌دهد که در این حالت حداقل نیاز زیست‌محیطی پیشنهادی برمبنای کلاس A تقریباً مشابه مقادیر پیشنهادی برمبنای کلاس D در حالت قبل (جریان طبیعی) است. حداقل جریانی که می‌توان برای این بخش از رودخانه درنظر گرفت، وضعیت کلاس C (با نادیده گرفتن اثر انتقال آب) می‌باشد که تقریباً معادل شرایط بحرانی براساس جریان طبیعی رودخانه است. بر این اساس حداقل جریان زیست‌محیطی پیشنهادی برای این محدوده (رودخانه کوهرنگ)، از ۳/۶۹ متر مکعب بر ثانیه برای سپتامبر (شهریور) تا ۱۶/۸۱ متر مکعب بر ثانیه برای آوریل (فروردین) متغیر می‌باشد.

در خصوص ایستگاه ارمند، کلاس C به‌دلیل تغییرات و برداشت‌هایی که در بالادست رودخانه صورت گرفته است نمی‌تواند مبنای تعیین حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه کارون در این محدوده قرار گیرد. نتایج حاصل از کلاس D تقریباً با نتایج Q_{95} مشابه است (به استثنای ماه‌های پرآب اسفند تا اردیبهشت). اما مقایسه حداقل جریان زیست‌محیطی پیشنهادی در این کلاس با جریان متوسط ماهانه در سال‌های مختلف نشان می‌دهد که در سال‌هایی که خشکسالی خفیف وجود داشته است در بیش از ۵۰ درصد موارد، متوسط جریان رودخانه در ماه‌های ژوئن تا اگوست (خرداد تا مرداد) کمتر از حداقل جریان پیشنهادی بوده است. این درصد در شرایط خشکسالی شدید بیش از ۷۰ درصد می‌باشد. بنابراین نتایج حاصل از کلاس E به عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه کارون در این محدوده پیشنهاد می‌شود که از ۲۰/۸ متر مکعب بر ثانیه برای ماه‌های سپتامبر و اکتبر (شهریور و مهر) تا ۷۳/۲۹ برای آوریل (فروردین) متغیر است. مقادیر پیشنهادی توسط این روش در ماه‌های آوریل تا اگوست و در ماه‌های سپتامبر تا فوریه به‌ترتیب تقریباً مشابه نتایج روش تنانت اصلاح شده و Q_{95} می‌باشد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج روش‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در مطالعه حاضر، در بالادست محل درنظر گرفته شده برای سد بهشت‌آباد، حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه بهشت‌آباد بین ۱/۲۲ متر مکعب بر ثانیه برای شهریور تا ۱۶/۷۵ متر مکعب بر ثانیه برای فروردین (برمبنای کلاس C روش انتقال منحنی تداوم جریان) برآورد شده است. حداقل جریان زیست‌محیطی برآورد شده برای رودخانه کوهرنگ نیز از ۳/۶۹ متر مکعب بر ثانیه برای شهریور تا ۱۶/۸۱ مترمکعب بر ثانیه برای فروردین متغیر می‌باشد. در پایین‌دست سد نیز رودخانه کارون به حداقل جریان ۲۰/۸ متر مکعب بر ثانیه برای ماه‌های شهریور و مهر تا ۷۳/۲۹ متر مکعب بر ثانیه برای ماه فروردین نیاز دارد (برمبنای کلاس E روش انتقال منحنی تداوم جریان). با توجه به نتایج روش‌های مختلف مورد استفاده در این مطالعه، درصد تأمین نیاز آب زیست‌محیطی در ایستگاه‌های مورد بررسی در سال‌ها و ماه‌های مختلف متفاوت بوده و جریان آب پایداری برای تأمین کلیه نیازهای زیست‌محیطی رودخانه در این محدوده وجود نداشته است؛ بنابراین توجه به نیاز آب زیست‌محیطی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به طرح‌های توسعه و انتقال آب از این محدوده، بسیار حائز اهمیت است.

جدول ۶- عدم تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها برای کلاس‌های مختلف مدیریت زیست‌محیطی (درصد)

Table 6- Failure to meet the river environmental water requirements in different environmental management classes (percentage)

ایستگاه Station	کلاس Class	مهر Oct	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul	مرداد Aug	شهریور Sep
بهشت‌آباد (BeheshtAbad)	C	8.8	17.6	11.8	2.9	5.9	2.9	5.9	8.8	20.6	20.6	11.8	11.8
	D	2.9	0.0	2.9	2.9	0.0	0.0	5.9	5.9	5.9	0.0	8.8	8.8
	E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	8.8	8.8
	F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	8.8
دزک‌آباد (DezakAbad)	C	97.0	78.8	78.8	90.9	87.9	60.6	63.6	84.8	97.0	97.0	100.0	100.0
	D	78.8	75.8	75.8	78.8	63.6	39.4	42.4	81.8	93.9	97.0	97.0	90.9
	E	72.7	63.6	57.6	63.6	54.5	21.2	24.2	66.7	90.9	93.9	93.9	81.8
	F	69.7	57.6	33.3	36.4	18.2	9.1	18.2	45.5	87.9	90.9	81.8	75.8
کاج (Kaj)	C	60.0	65.0	60.0	65.0	50.0	25.0	20.0	50.0	80.0	90.0	75.0	70.0
	D	60.0	45.0	40.0	45.0	20.0	5.0	10.0	20.0	65.0	70.0	65.0	55.0
	E	45.0	20.0	25.0	40.0	15.0	0.0	5.0	15.0	35.0	65.0	45.0	45.0
	F	45.0	10.0	20.0	25.0	10.0	0.0	0.0	10.0	25.0	50.0	45.0	45.0
کاج (صرفنظر از انتقال آب از طریق تونل‌های کوهرنگ) Kaj (ignore Koohrang tunnels)	C	10.0	5.0	20.0	15.0	15.0	0.0	0.0	5.0	15.0	15.0	15.0	5.0
	D	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0	10.0	5.0	0.0
	E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
	F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
ارمند (Armand)	C	19.0	21.4	26.2	16.7	21.4	14.3	9.5	26.2	33.3	38.1	31.0	21.4
	D	4.8	7.1	7.1	9.5	14.3	2.4	2.4	11.9	28.6	31.0	21.4	7.1
	E	2.4	2.4	2.4	2.4	4.8	0.0	2.4	4.8	23.8	19.0	7.1	4.8
	F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	4.8	2.4	0.0	0.0

همچنین لازم است به این مسئله توجه شود که در طی دوره‌ی مورد بررسی، سال‌هایی که منطقه با وضعیت خشکسالی متوسط یا خفیف مواجه بوده، نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه به‌طور کامل تأمین نشده است، این مسئله در مواردی که خشکسالی شدیدتری اتفاق افتد، حادتر خواهد بود؛ بنابراین آب مازاد فعلی حوضه ممکن است نتواند منبع پایداری برای انتقال به حوضه دیگر باشد. زیرا در مواردی که آب زیست‌محیطی مورد نیاز تأمین نشود عملکردهای اساسی اکوسیستم تحت تأثیر قرار می‌گیرند و در صورت تداوم آن و عدم تأمین حداقل نیاز زیست‌محیطی، ممکن است تأثیرات مخرب برگشت‌ناپذیری بر اکوسیستم حوضه مبدأ و پایین‌دست داشته باشد. همچنین به دلیل وابستگی که در حوضه مقصد به منابع آب انتقالی ایجاد می‌شود، در سال‌هایی که آب برنامه‌ریزی‌شده برای حوضه مقصد نتواند در حوضه مبدأ تولید شود، آثار منفی و مناقشاتی را در هر دو حوضه به دنبال خواهد داشت. براساس نتایج این مطالعه مشاهده می‌شود که عدم تأمین آب زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه بیشتر در فصل کم‌آب سال اتفاق می‌افتد بنابراین در صورتی که الزام به اجرای طرح‌های توسعه منابع آب باشد، لازم است در تصمیم‌گیری‌های مربوط به تخصیص آب توجه ویژه‌ای به نیاز زیست‌محیطی رودخانه در ماه‌های مربوطه شود.

منابع

1- Ataie Kachouie Z. 2018. Calculation and assessment of environmental flow using hydraulic and hydrological methods (Case study: Dez diversion check dam to Karun River). M.Sc thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian with English abstract)

2- Bayat S., Ebrahimi K., Araghinejad Sh., and Yasi M. 2019. Comparison of the environmental flow assessment methods involving case studies of Karaj and Talar Rivers. Iranian Journal of Watershed Management Science 13(45): 77-86. (In Persian with English abstract)

3- Caissie D., and El-Jabi N. 1995. Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada. Canadian Journal of Civil Engineering 22(2): 235-246.

4- Dubey A., Singh O., Shekhar S., and Pohshna C. 2019. Assessment of environmental flow requirement using environmental management classes-flow duration curve for Narmada River. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 8(1): 891-897.

5- DWAF. 1997. White paper on a national Water Policy for South Africa, Pretoria, South Africa, Department of Water Affairs and Forestry.

6- Esmaili K., Sadeghe Z., Kaboli A., and Shafaei H. 2018. Application hydrological methods for estimating river environmental water rights (Case Study of Gorganroud River). Journal of Natural Environmental (Iranian Journal

of Natural Resources) 71(4): 437-451. (In Persian with English abstract)
7- Habibi Alagoz S. 2017. River Environmental Flow. Sumer Publisher. Tabriz. (In Persian)
8- Hosseinpour D. 2018. Estimation of environmental flow in some rivers of northern Karoun basin using hydrological and hydraulic methods. M.Sc thesis. Shahrekord University. (In Persian with English abstract)
9- Isazadeh M., Mohammadi P., and Dinpazhoh Y. 2018. Evaluation of artificial neural network and multiple linear regression models to estimate the daily missing data flow (runoff) (case study: Santeh gauging station- Kordestan province). Journal of Water and Soil Science 21(4): 143-159. (In Persian with English abstract)
10- Kim S. K., and Choi S.U. 2019. Comparison of environmental flows from a habitat suitability perspective: A case study in the Naeseong-cheon Stream in Korea. Ecohydrology 12(6): e2119.
11- Mazvimavi D., Madamombe E., and Makurira H. 2007. Assessment of environmental flow requirements for river basin planning in Zimbabwe. Journal of Physics and Chemistry of the Earth 30: 639-647.
12- Ministry of Energy. 2012. Guideline for Finding Aquatic Ecosystems Environmental Water Requirement. No 557. (In Persian)
13- Ministry of Energy. 2013. Update studies of the comprehensive plan of water resources: Karun basin integration report. (In Persian)
14- Mostafavi S., and Yasi M. 2015. Evaluation of environmental flows in rivers using hydrological methods (Case study: The Barandozchi River- Urmia Lake Basin). Journal of Water and Soil 29(5): 1219-1231. (In Persian with English abstract)
15- Naderi M.H., Zakerinia M., and Salarijazi M. 2020. Design and analysis of optimal ecological flow regime Zarrin-Gol River using hydrological and ecohydraulic habitat simulation model. Water and Soil 34(3): 515-532.
16- Naghidi R., Shayannezhad M., and Sadati Nejad S.J. 2010. Comparison of different methods for estimating of monthly discharge missing data in grand Karoon River basin. Journal of Watershed Management Research 1(1): 59-71. (In Persian with English abstract)
17- Poff N.L. 1996. A hydro geography of unregulated streams in United States and an examination of scale-dependence in some hydrological discriptors. Freshwater Biology 36: 71-91.
18- Pour Sattar S. 2016. Karun River environmental flow calculation and evaluation from Mollasani to Darkhovin. M.Sc thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian with English abstract)
19- Pyrce R. 2004. Hydrological low flow indices and their uses. Watershed Science Centre. WSC Report No. 04, Trent University, Peterborough, Ontario, 33p.
20- Shaeri Karimi S., Yasi M., and Eslamian S. 2012. Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. International Journal of Environmental Science and Technology 9: 549-558.
21- Smakhtin V. 2001. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology 240: 147-186.
22- Smakhtin V., and Anpuhas M. 2006. An assessment of environmental flow requirements of Indian River basins. IWMI Research Report 107. International water Management Institue. Colombo, Sri Lanka, 36p.
23- Smakhtin V., Revenga C., and Döll P. 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. Water International 29(3): 307-317.
24- Tennant D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries 1(4): 6-10.
25- Walker K.F., Sheldon F., and Puckridge J.T. 1995. A perspective on dryland river ecosystems. Regulated Rivers 11: 85-104.
26- Wallingford H.R. 2003. Handbook for the Assessment of Catchment Water Demand and Use. 248p.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 3, Jul.-Agu. 2021, p. 319-333

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۴۰۰، ص. ۳۳۳-۳۱۹

Environmental Flow Assessment of Karun River in Upstream and Downstream of Beheshtabad Dam

F. Hayatgheibi[1]- N. Shahnoushi[2]*- B. Ghahreman[3]- H. Samadi Borujeni[4]- M. Ghorbani[5]- M. Sabouhi Sabouni[6]
Received: 25-11-2020
Accepted: 11-04-2021

Introduction: The development of water resources in many cases has led to increased economic welfare, improved living and health standards, food production, etc. However, in some cases due to the insufficient attention to all aspects of these projects, the irreparable environmental effects and subsequent social and economic effects have been imposed on society. Paying attention to environmental water requirements is one of the most important issues in decision making in water resources development plans. The objective of this study is to assess river environmental water requirements in upstream and downstream of Beheshtabad Dam. Beheshtabad Dam has designed to build on the Karun River for water transfer from Karun to Zayanderood basin. But it has not been implemented due to the various problems and challenges.

Materials and Methods: Protecting and restoring river flow regimes and hence, the ecosystems they support by providing environmental flows has become a major aspect of river basin management. Environmental flows describe the quantity, timing, and quality of water flows required to sustain freshwater,estuarine ecosystems,the human livelihoods, and well-being that depend on these ecosystems. Over 200 approaches for determining environmental flows now exist and used or proposed for use in more than 50 countries worldwide. In the present study, hydrological methods have been used. These methodes include Tennant and modified Tennant, Flow Duration Curve (FDC) and FDC shifting (for different environmental management classes). For this purpose, four hydrometric stations (three stations upstream and one station downstream of the dam) have been selected.

Results and Discussion: The results of the study showed that the river water flow had not been sufficient to meet environmental water requirements in several cases, especially in years when the region was experiencing mild to moderate drought conditions. According to the Tennant method, the minimum environmental flow requirement averages based on Beheshtabad, DezakAbad, Kaj, and Armand stations data were 3.80, 5.06, 6.99, 22.01 m^3/s, respectively. Using the mentioned stations data, , the minimum environmental flow requirement averages were 3.62, 6.07, 7.91, 23.67 m^3/s based on the modified Tennant method. According to the flow duration curve method, minimum environmental flow requirements (Q_{95}) were 1.96, 5.1, 8.32, 30.62 m^3/s, using data collected from Beheshtabad, DezakAbad, Kaj, and Armand stations, respectively. The results of the flow duration curve shifting method indicated that the river water flow did not meet the river environmental water requirements in different environmental management classes in some months and years. Comparative results of different methods revealed that the minimum environmental flow requirement of Beheshtabad River upstream of Beheshtabad Dam was 1.22-16.75 m^3/s from September to April (based on FDC shifting method, class C). The estimated minimum environmental flow for Koohrang River was 3.69-16.81 m^3/s from September to April. The downstream of the dam, Karun River requires a minimum flow rate of 20.8-73.29 m^3/s from September and October to April (based on FDC shifting method, class E).

Conclusion: According to the results of various methods used in this study, the Karun River flow is not enough to meet the minimum river environmental water requirements in some years and months. Therefore, decision-makers must pay attention to the environmental water requirements in decisions related to the development plans and water transfer from this river. It should be noted that the river environmental water requirements have not been met completely when the region has experienced moderate or mild drought, which would be more acute in cases

1, 2, 5 and 6- Ph.D. Student and Professors, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Shahnoushi@um.ac.ir)
3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
4- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
DOI: 10.22067/jsw.2021.67064.0

of more severe drought conditions. Therefore, the current surplus water of this basin may not be a sustainable source to transfer to another basin.

Keywords: Beheshtabad dam, Environmental water requirement, Hydrological methods, Karun River, Water transfer